

# The contribution of spatial images in the prevention of natural flood risk and its effects on human societies

Gilles Selleron

[selleron@univ-tlse2.fr](mailto:selleron@univ-tlse2.fr)

Géode UMR 5602 CNRS – Université Toulouse-le-Mirail – France -

## Abstract

*We know that global climate change has many local impacts on environment and populations, particularly through increased flooding. These affect more and more great cities.*

*The consequences are devastating with important stakes on several plans: society, human, economic, financial and environmental. Reduce damage and protect populations at risk of flooding is essential.*

*This relationship "nature-society" can only be interdisciplinary as factors to control are numerous and complex.*

*The objective is to provide an early warning system for floods that combining the waterside communities and their needs, the political decision-makers and different scientific fields (geography, remote sensing, hydraulic, mathematics, modeling...)*

*The experience takes place on two ponds hillsides tributaries of the Garonne in the south of France. Variable areas (500 to 1000 km<sup>2</sup>) with lengths of 50 to 70 km, these two rivers converge to on the large city of Toulouse.*

*But what prognostic issue without understanding the past and present of the contemporary evolution of land use, rural landscapes and the growth of urban areas ; all these key factors of flood hazards and the spatial extension of water during floods.*

*The retrospective spatial analysis by means of satellite images with fine resolutions allows to establish a reliable, perceptible and quantifiable diagnosis to meet the needs of populations. All these data are then integrated into a chain of forward-looking models.*

## Introduction

Les risques naturels connaissent une extension considérable sur l'époque contemporaine. Pour s'en convaincre et se rendre compte de leurs ampleurs, de leurs fréquences en augmentation constante, au-delà des nombreux cris d'alarme de scientifiques de par le monde, il suffit de regarder les statistiques des assureurs.

En effet, la population mondiale ne cesse de croître. En conquérant toute la planète, elle tend à se concentrer dans de vastes agglomérations ou conurbations plus ou moins tentaculaires, si bien, que les catastrophes naturelles, les ouragans, les séismes, les inondations, les incendies, la sécheresse... ont des impacts de plus en plus graves sur les environnements urbanisés et les habitants qui y vivent. Les dégâts matériels et humains sont généralement considérables même dans des pays développés respectant les normes sismiques en vigueur pour leurs constructions : le terrible séisme de Kōbe de au Japon est venu nous le rappeler.

La France n'échappe à ce contexte mondial, comme le montre bien les figures 1 et 2, où l'inondation -et les coûts qu'elle engendre-, est la toute première cause des risques naturels :

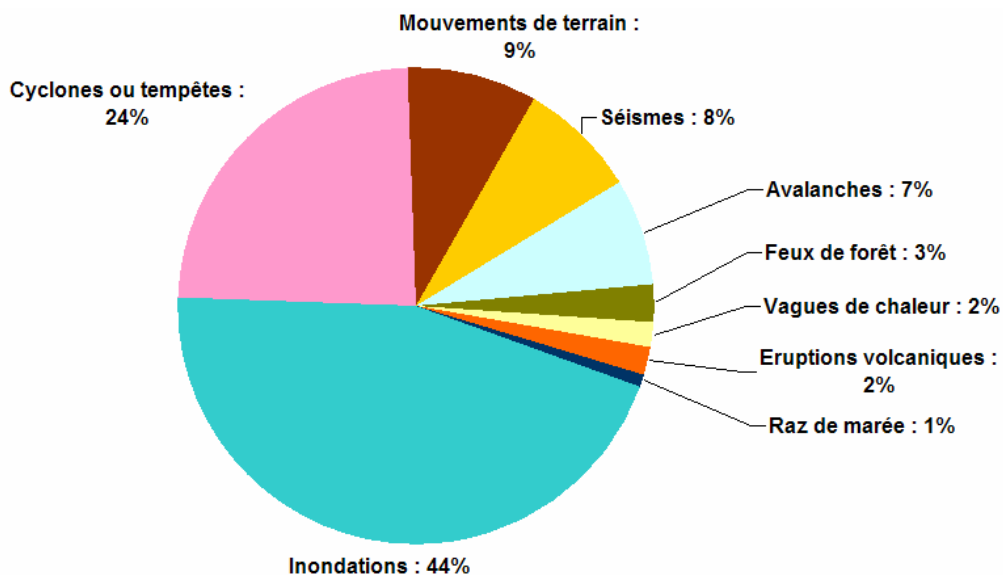


Fig. 1 : Les événements naturels dommageables en France de 1900 à 2007  
(Source : Medd/DPPR, 2007. Note : évalués chaque année en euros courants.)

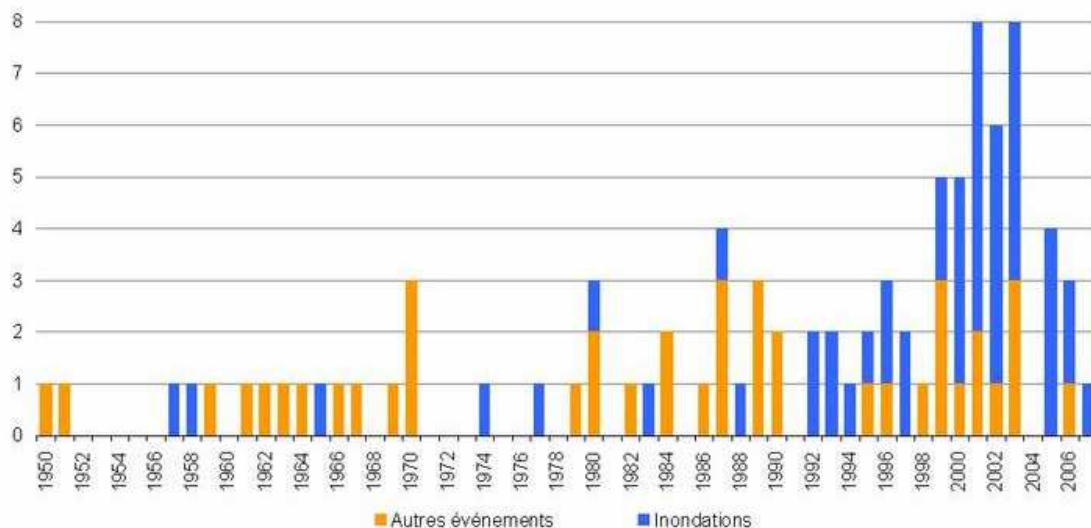


Fig. 2 : Les inondations et autres événements naturels très graves en France entre 1950 et 2007  
(Source : Meeddm (DGPR), bases de données sur les catastrophes naturelles depuis 1900 en France, septembre 2009 - et Medd (DPPR), "Les événements naturels dommageables en France et dans le monde en 2007". Note : Événements de gravité 3 ou plus (ayant fait plus de 10 morts ou plus de 30 millions d'euros de dommages matériels).)

La présente communication se propose d'exposer les lignes directrices d'une méthode interdisciplinaire d'approche de ce risque sur un terrain expérimental situé dans le sud ouest de la France. Méthode et analyse tendent à prendre en compte l'intégralité du phénomène. Certes le cours d'eau lui-même, son tracé, son débit, ses crues mais également son bassin versant avec ses différents aspects sociétaux et environnementaux rassemblés dans leurs imbrications mutuelles.

L'accent est en particulier mis sur l'analyse historique récente et rétrospective que l'on peut envisager grâce au recul et à l'apport des images satellitales à hautes résolutions spatiales. Pourvues de caractéristiques techniques constantes au fil du temps, les enregistrements réguliers d'images satellitales de la surface terrestre permettent de rendre compte des dynamiques paysagères, de l'occupation du sol, de l'emprise, de la diversité et de l'impact des activités humaines sur leur territoires, dont l'extension urbaine. Cet outil ainsi valorisé, apparaît comme un des maillons de la chaîne de traitement de l'information spatiale autorisant une plus grande maîtrise de la vulnérabilité

structurale d'inondation, autrement dit, percevoir l'influence des éléments constitutifs du territoire sur les écoulements en cas de crues.

## 1. Un contexte interdisciplinaire

Nous partons du constat que le phénomène d'inondation -et la vulnérabilité qui en découle- est un phénomène complexe, récidivant et aléatoire qui met en jeu des interactions fortes « nature – société ». Il serait donc prétentieux ou illusoire de vouloir l'analyser soit sur un plan purement social, soit sur un plan purement hydrologique. Les résultats en seraient forcément biaisés, incomplets, partiels tant les interactions multiples y sont présentes, emboîtées même.

Ainsi, pour tenter de répondre au mieux à sa complexité, notre étude est partie prenant d'un programme de recherche dénommé « AMAC » (AMélioration de l'Alerte aux Crues - Improving Flood Alert) ; programme méthodologique. Il rassemble :

- deux laboratoires de sciences sociales et humaines (GEODE- Géographie de l'environnement ; LMTG, sociologues) ;
- deux de sciences exactes (IMFT, Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse ; IMT- Institut de Mathématiques de Toulouse) ;
- deux organismes de recherche et de service (le SCHAPI de Météo France -Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations- et la DREAL Midi-Pyrénées - Missions du Service Risques Naturels et Ouvrages Hydrauliques).

Le projet est piloté par l'IMFT.

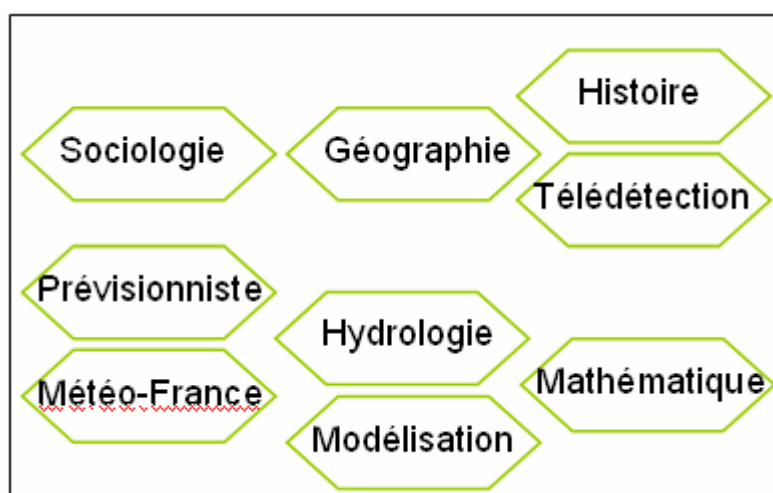


Figure 3 – Ensemble des disciplines, des thématiques et des outils imbriqués dans le Programme AMAC

Comme nous l'avons retracé sur les figures 3 et 4, ce projet a vocation à intégrer, autant que faire se peut, la totalité du processus de l'aléa inondation. Il forme en quelque sorte une chaîne de traitement centrée sur les besoins des populations riveraines concernées.

L'organigramme de la figure 4 décompose la succession des tâches et articule la chaîne de traitement de l'aléa. Elle aborde et intègre des parties thématiques relevant de la sociologie, de l'histoire, de la géographie, de l'hydrologie, de la modélisation et des mathématiques.

A un bout de cette chaîne, tout l'apport historique des inondations, leurs fréquences, la réglementation en vigueur, le rôle des élus politiques et des gestionnaires en temps de crise ouverte à tous les niveaux de la prise de décision ; de l'autre, la modélisation hydraulique pour simuler d'un point de vue physique les éventuels divagation des rivières et, par conséquent, les dévastation potentielles lors de crues.

Ainsi le projet compte répondre à la prévision, l'alerte et la gestion de crise par une synchronisation de multiples données intégrées dans un système d'information géographique (SIG) pour appuyer l'alerte aux inondations ; sauver des vies humaines et limiter les dégâts matériels.

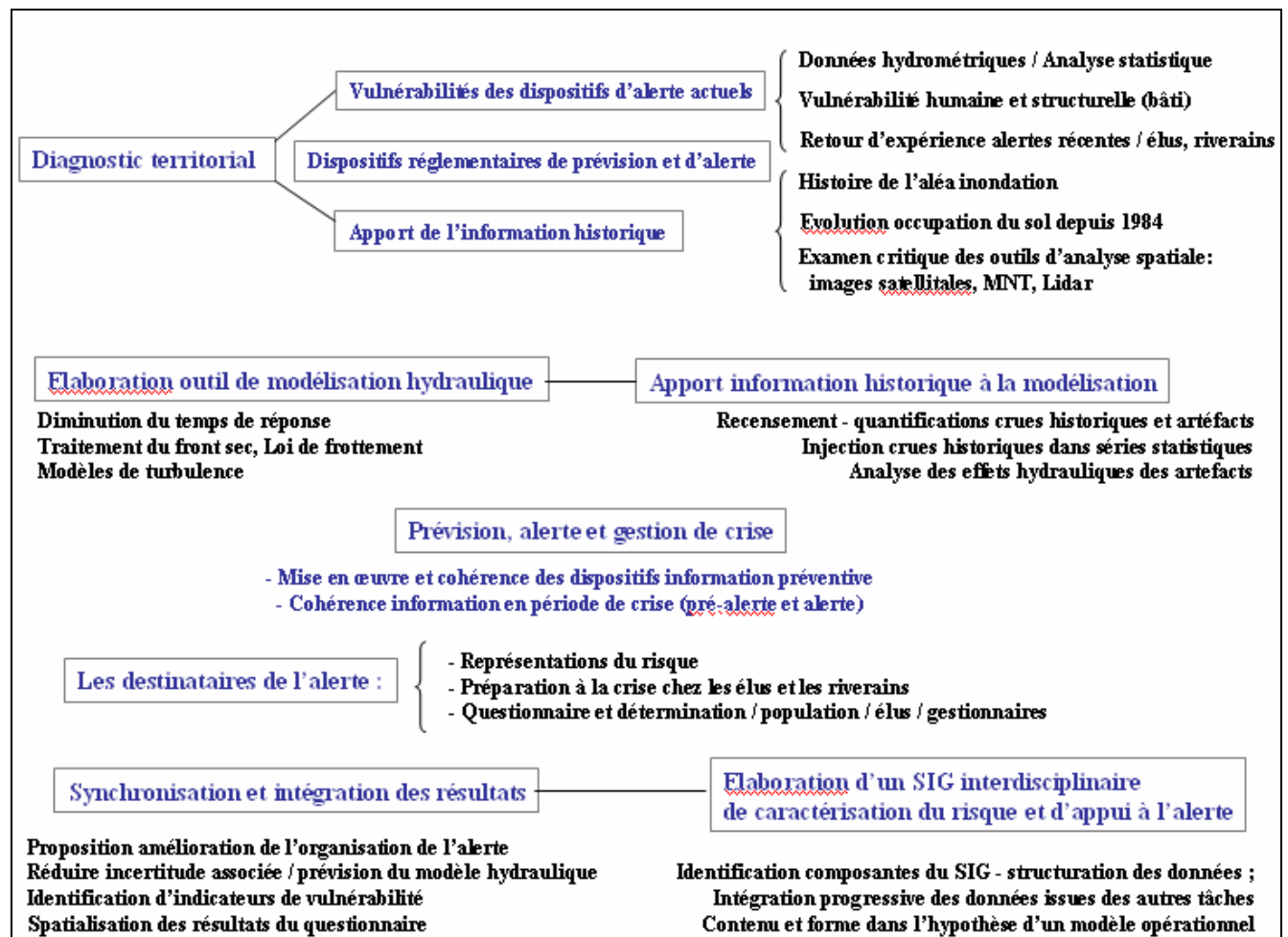


Fig. 4 – Organigramme de l'ensemble des tâches interdisciplinaires du Programme AMAC

Un des aspects de cette chaîne de traitement de l'aléa d'inondation, est de mettre en avant ce nécessaire recul historique et géographique fondé sur l'analyse de toutes les mesures hydrauliques depuis un siècle, joint à une approche spatiale de l'évolution de l'occupation du sol sur le temps contemporain récent.

Sur ce dernier point, ces données, issues du traitement de l'information spatiale fournie par des satellites à hautes résolutions spatiales, s'intègrent parfaitement à la présente chaîne de traitement interdisciplinaire comme le précise le programme de recherches communs :

*« La vulnérabilité revêt plusieurs dimensions : structurelle, fonctionnelle, territoriale, sociale, institutionnelle, individuelle, collective, psychologique, économique, etc. La compréhension fine de la vulnérabilité sociale et territoriale, objet de notre étude, nécessite l'analyse du contexte local, et en l'occurrence la mise en évidence de la vulnérabilité structurelle. Nous proposons donc, dans un premier temps, de préciser la localisation des principaux enjeux, à partir d'une méthode reproductible : la télédétection à résolution fine. Nous mettons ensuite en évidence les premiers indicateurs de vulnérabilité sociale, à travers la mise en œuvre des documents réglementaires d'aménagement du territoire et de gestion de crise. »*

(AMAC - Rapport Juillet 2011)

## 2. Deux bassins versants : sites expérimentaux

L'étude a lieu dans la région sud-ouest de la France, en amont de la grande agglomération de Toulouse traversée par le fleuve La Garonne. Entre le massif des Pyrénées et Toulouse, deux cours d'eau de la Région Midi-Pyrénées, le Touch et la Lèze, l'un affluent de la Garonne, l'autre de l'Ariège, constituent l'assise spatiale de cette recherche.

Leurs bassins versants, de taille moyenne, atteignent respectivement une superficie de 515 km<sup>2</sup> et 351 km<sup>2</sup>. Relativement courts, leurs longueurs est de 75 km pour le Touch et de 70 km pour la Lèze. Le débit moyen annuel du Touch s'établit à 3,92 m<sup>3</sup>/s et celui de la Lèze à 2,01 m<sup>3</sup>/s.

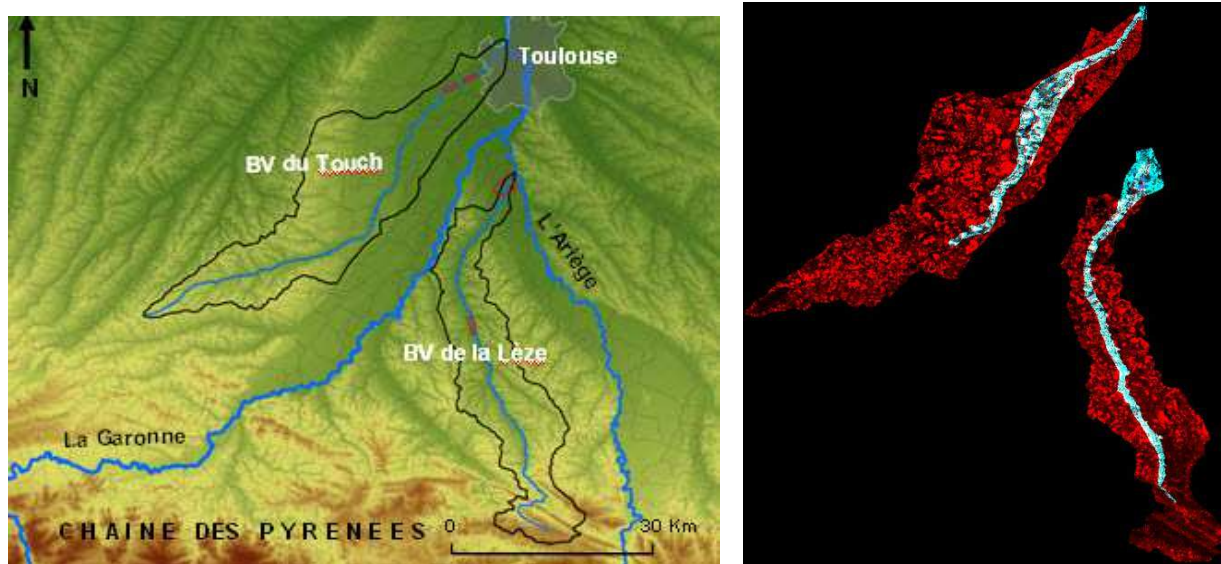


Fig. 5 – Localisation des bassins versants du Touch et de la Lèze et incrustation de leurs lits (Bleu) dans les BV (Rouge) et en Région Midi-Pyrénées – France.

D'un point de vue géographique, le bassin versant du Touch a une altitude comprise entre 349 m et 132 mètres, tandis que celui de la Lèze, plus pentu, part de 406 m à La Bastide-de-Sérou pour rejoindre Labarthe sur Lèze à 151 mètres.

Le Touch, au tracé quasi rectiligne, prend sa source sur la commune de Lilhac et se jette dans la Garonne à la hauteur de Blagnac. Traversant 61 communes, il circule en pentes faibles dans une région pénégplanée façonnée par des alluvions anciennes de la Garonne sur des terrasses marneuses et limoneuses.

La majeure partie de l'environnement qui le borde, est celle d'une agriculture intensive avec de nombreux champs circulaires et irrigués le plus souvent dédiés au maïs, tandis qu'en aval, il traverse de grandes agglomérations juxtaposées incluses dans le périmètre du Grand Toulouse, dont Seysses, Plaisance du Touch, Tournefeuille, Saint-Martin du Touch. Les haies végétales ont disparu mais quelques massifs boisés, épars, sont encore perceptibles sur les parties les plus élevées des terrasses alluviales, tout comme de nombreuses retenues d'eau et petits barrages artificiels.

La Lèze prend sa source sur le piémont pyrénéen (le Plantaurel) à une altitude de 575 m et se jette dans l'Ariège, elle-même affluent de la Garonne. Son tracé serpente davantage que le Touch, avec deux directions majeures, d'abord du sud-est vers le nord-ouest puis, à la hauteur de Saint Sulpice sur Lèze, bifurque vers le nord-est. Au sortir du contrefort pyrénéen accidenté et très forestier, les paysages bordant son cours en plaine, collines et terrasses alluviales sont constitués de champs cultivés relevant d'une agriculture intensive (maïs, soja, céréales). A la différence du Touch, la Lèze est jalonnée de petites agglomérations disjointes, dont Lézat sur Lèze, Saint-Sulpice sur Lèze et Labarthe sur Lèze. Enfin, on notera que ces deux cours d'eau sont bordés d'une ripisylve étroite mais quasi continue.

La superposition des deux lits (bleu) au sein des deux bassins versants (rouge) dévoile, sans contestation possible, l'élargissement du lit de la Lèze en son débouché aval, à l'endroit même d'une implantation urbaine. Celui du Touch est certes plus étroit mais traverse dans sa partie aval un urbanisme continu. Dès lors, on commence à mesurer les enjeux environnementaux et les dégâts potentiels que peuvent provoquer les crues de ces deux cours d'eau.

D'autant que les archives historiques et les services hydrologiques actuels permettent de dater et d'établir la fréquence des crues qui s'établissent ainsi :

- Les grandes crues du Touch : avril 1770, 23 juin 1875, 12 mai 1890, 3 juillet 1897, et du 2 février 1952. Les plus actuelles depuis 1968 : décembre 1976, mai 1975, juillet 1977, janvier 1980, janvier 1981, septembre 1993, juin 2000, février 2003.

- Celles de la Lèze : Juin 1875, février 1879, octobre 1897, juillet 1932, février 1952, avril 1974, mai 1977, juin 2000.

### **3. Méthodologie d'identification de la vulnérabilité structurelle par télédétection**

Nous présentons la méthodologie mise en œuvre pour reconstituer la dynamique environnementale par télédétection de 1984 à 2010 et spatialiser les structures paysagères susceptibles de contribuer aux inondations ; éléments surfaciques permettant de contraindre le modèle hydrodynamique afin d'améliorer ses prévisions.

#### **3.1. Recensement, sélection et préparation des images**

Pour couvrir l'intégralité des deux bassins versants géographiquement assez disjoints, après inventaire de l'existant et de leur qualité spectrale, 34 images du satellite Spot dépourvues de couverture nuageuse ont été acquises. La Commission ISIS (*Incitation à l'utilisation Scientifique des Images SPOT* ; Réf. dossier ISIS 508), la Société Spotimage-Astrium et le CNES de Toulouse (Centre National d'Etudes Spatiales) ont aidé à la réalisation d'un tel projet.

Ces images couvrent la période contemporaine de 1986 à 2010. Elles possèdent des résolutions spatiales diverses allant de 20 à 5 mètres. A ces images Spot, pour prétendre à un recul maximal, nous avons adjoint une image Landsat-TM datant de juillet 1984 avec une résolution de 30 mètres ; la plus ancienne existante, celle de 1975, n'étant guère lisible. L'ensemble des images Spot ont été rassemblées géométriquement autour de 11 dates clés sur cette période selon les considérations suivantes :

- avant et après les crues décennales de la Lèze en Juin 2000 (débit instantané maximal de 144.0 m<sup>3</sup>/s et hauteur maximale instantanée 291 cm le 11 juin 2000 à 23h24), et celle du Touch le 5 février 2003 (débit instantané maximal de 105.0 m<sup>3</sup>/s ; soit l'équivalent d'une crue trentennale) ;
- la plus éloignée des dates disponibles et la plus récente pourvue d'une meilleure résolution spatiale.

Cette amplitude chronologique autorise ainsi une analyse rétrospective en remontant progressivement le temps de 2010 à 1984. On notera cependant un écueil : aucune image n'a pu être acquise au moment même des inondations pour cartographier l'extension maximale des eaux. En effet, les capteurs de ces satellites relevant du domaine optique ne traversent pas la couverture nuageuse. Celle-ci s'est révélée particulièrement importante au moment de chacune des crues. Ce fait constitue un obstacle majeur et incontournable. De là, des palliatifs mis en œuvre par l'acquisition d'images satellitaires à des dates avoisinantes.



L'ensemble des images Spot et Landsat a été France sous le logiciel Arc-Gis. Aussi se superposent-elles au pixel près. Leur projection spatiale est conforme au Lambert-93, usuel en France. Leurs résolutions spectrales couvrent le domaine du visible (Vert et Rouge) celui de l'Infrarouge, proche (PIR) et moyen (MIR) ; leurs résolutions spatiales s'étendent de 30 à 10 mètres.

Ensuite, toute l'information multispectrale de ces images a été traitée sous le logiciel Er-Mapper.

### 3.2. Classification supervisée des images Spot et Landsat

Quatre date clés sont exposées : 1984, 2000, 2003 et 2010, soit une amplitude et un recul de 26 années. Aux extrêmes, l'évolution maximale de l'occupation du sol ; les deux dates intermédiaires étant centrées autour des deux récentes inondations de chacun des cours d'eau.

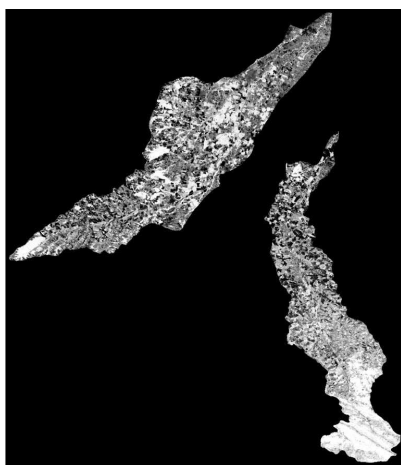
Les traitements ont été réalisés date par date ; l'objectif étant de dresser un état régulier de l'occupation du sol sur les deux sites, qualitatif et quantitatif. La nomenclature définie est donc volontairement limitée pour ne mettre en valeur et cartographier que les éléments majeurs censés avoir un impact sur l'aléa inondation. La nature physique de ces derniers renforce ou limite l'écoulement des eaux. Elle s'établit ainsi : Sol nu, Urbain, Culture-Prairie, Forêt, Eau.

Sur cette base, la spatialisation de l'occupation du sol passe par la classification de l'information multispectrale des images satellitaires. Ces traitements permettent de dresser des cartographies multiscalaires mono dates et d'en établir les statistiques.

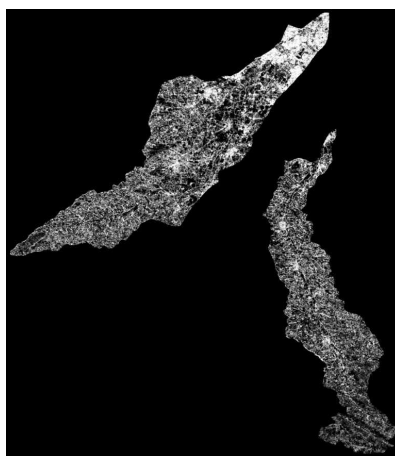
Une des difficultés majeures à résoudre dans le traitement du signal radiométrique d'un tel milieu hétérogène agricole et urbain est celui de la confusion spectrale potentielle -inhérente à cet outil- entre le milieu urbain et certains sols nus. En effet, les tuiles des maisons ne sont-elles pas des argiles cuites issues des terrains alentours ?

Cette difficulté a d'emblée été prise en compte. Nous avons opté pour des classifications d'images à partir des canaux d'origine alliés à un néo-canal faisant appel à la morphologie mathématique en télédétection. Notre choix s'est porté sur un « filtre de dispersion appliqué à une image ACP ». Ce néo-canal est ainsi calculé et dont on aperçoit les différents résultats visuels sur la figure 6 :

- Analyse en composante principale (ACP) sur les 4 canaux bruts (V, R, PIR et MIR) ;
- Linéarisation à 99 % ;
- sur l'ACP, un filtre de convolution (fenêtre 5x5) avec delta de 10, le résultat est ensuite moyenné par un filtre 11x11.



ACP



Convolution 5x5

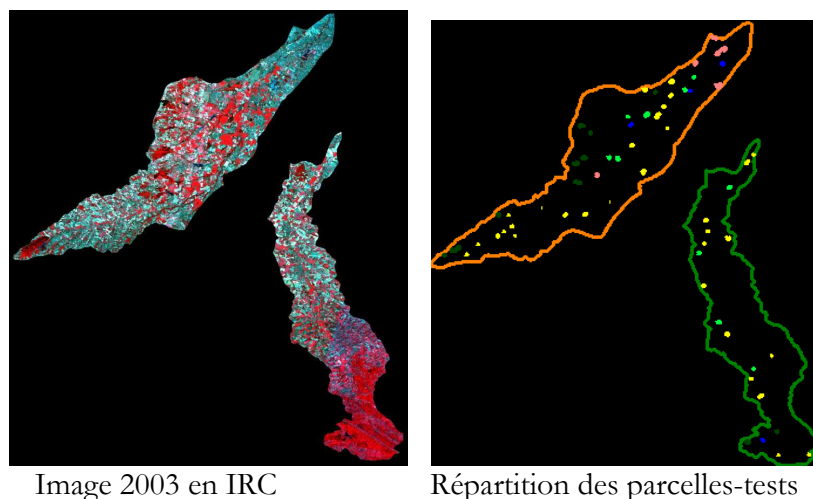
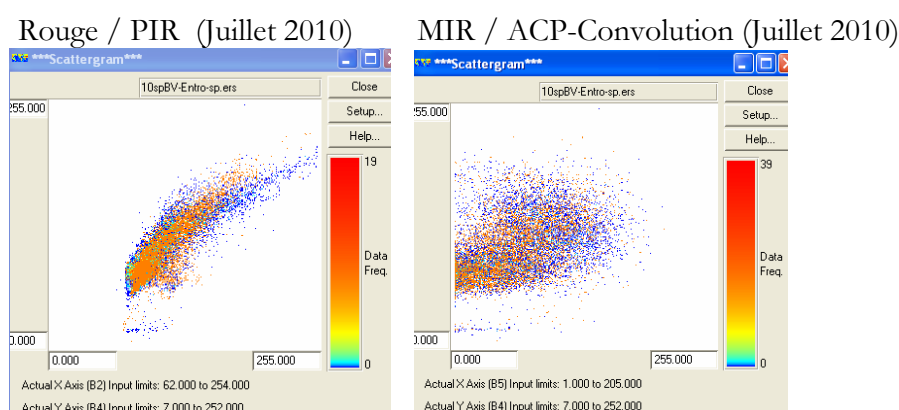


Fig. 6 - Etapes du traitement d'images (exemple image de juillet 2003)

Cette méthode tend à mieux discriminer les éléments texturaux présents dans le domaine urbain des sols nus aux textures lisses. Une soixantaine de parcelles d'apprentissage ont ensuite été sélectionnées sur chacune des images. Aux parcelles de Sol nu, Urbain, Culture-Prairie, Forêt, Eau, une nouvelle classe, dénommée « Transition », a été créée comme transition spectrale reflétant un domaine hétérogène composée d'urbain pavillonnaire plus ou moins végétalisés et de textures pointillées ainsi que certains sols nus eux-mêmes plus ou moins végétalisés.

L'algorithme statistique probabiliste choisi pour les classifications est le Maximum Likelihood Standard Neighbor (MLSN) ou Maximum de Vraisemblance Standard avec filtre de voisinage de 3x3. La radiométrie traitée peut être visualisée par ces diagrammes multispectraux pris deux à deux (Figure 7). On remarque la meilleure dispersion des valeurs spectrales que procure le néo-canal « ACP-Convolution ».

L'analyse des histogrammes bidimensionnels et des signatures spectrales des 5 thèmes (sauf Transition) (Fig.7 -exemple, image Spot 2010) est très utile pour observer la répartition multispectrale des pixels de chaque image et les confusions et les discriminations potentielles entre les parcelles-tests servant aux classifications :





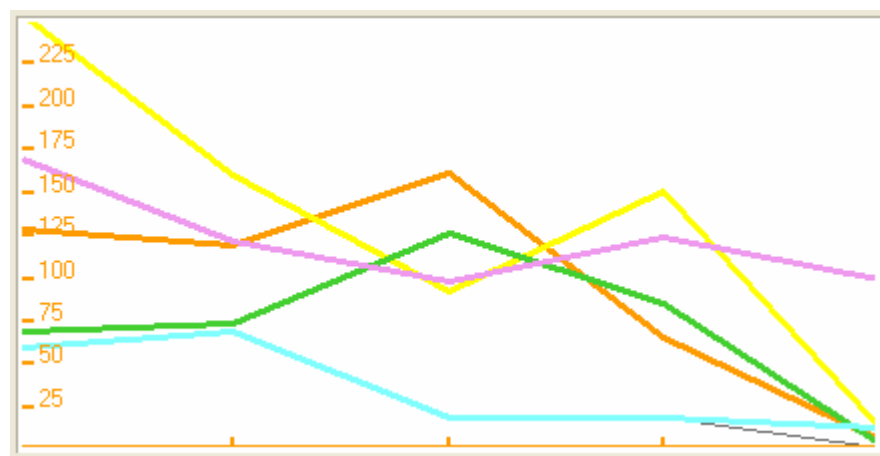


Fig. 7 – Histogrammes bidimensionnels de la totalité des pixels de l'image Spot de 2010 et signatures spectrales des parcelles échantillons : Sol nu, Urbain, Culture-Prairie, Foret, Eau en 2010

#### 4. Résultats et discussion

La figure 8 expose à petite échelle les quatre classifications des deux bassins versants selon la nomenclature décrite précédemment avec les codes couleurs par thèmes correspondants :

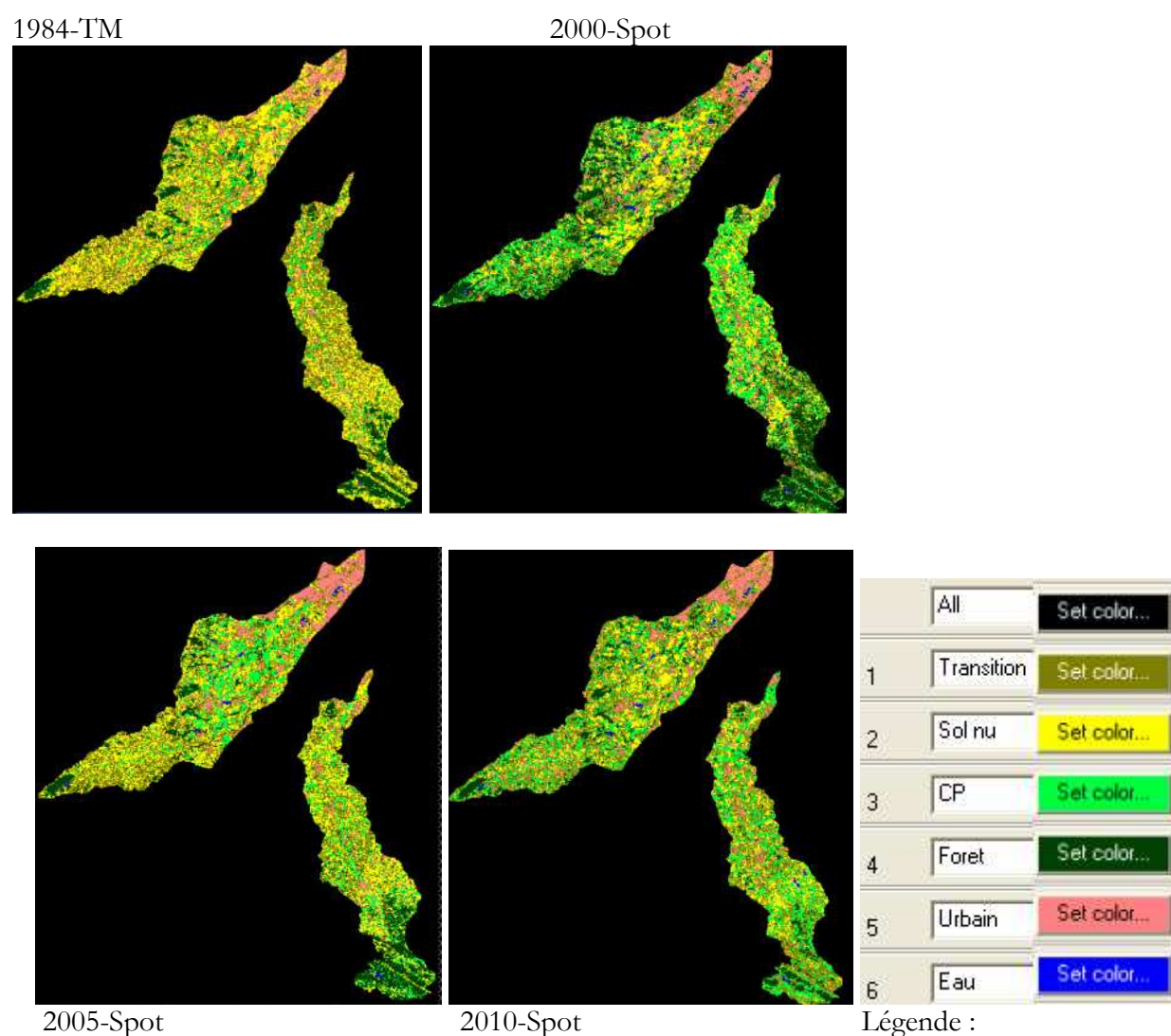


Fig. 8 - Résultats visuelles des classifications des BV Touch-Lèze aux quatre dates tests.

Les résultats quantitatifs et les graphiques afférents des différents types d'occupation du sol s'établissent ainsi :

OS / Dates / Ha	1984	2000	2003	2010
Urbain	10 013	10 393	10 159	11 130
Transition	30 272	19 019	24 020	31 808
Sol nu	27 014	14 538	25 309	16 460
Culture-Prairie	8 411	20 142	14 021	19 583
Foret	7 511	21 118	13 553	8 388
Eau	62	333	460	520
Total	83 284	85 543	87 522	87 889
All	464 942	418 175	418 044	448 483

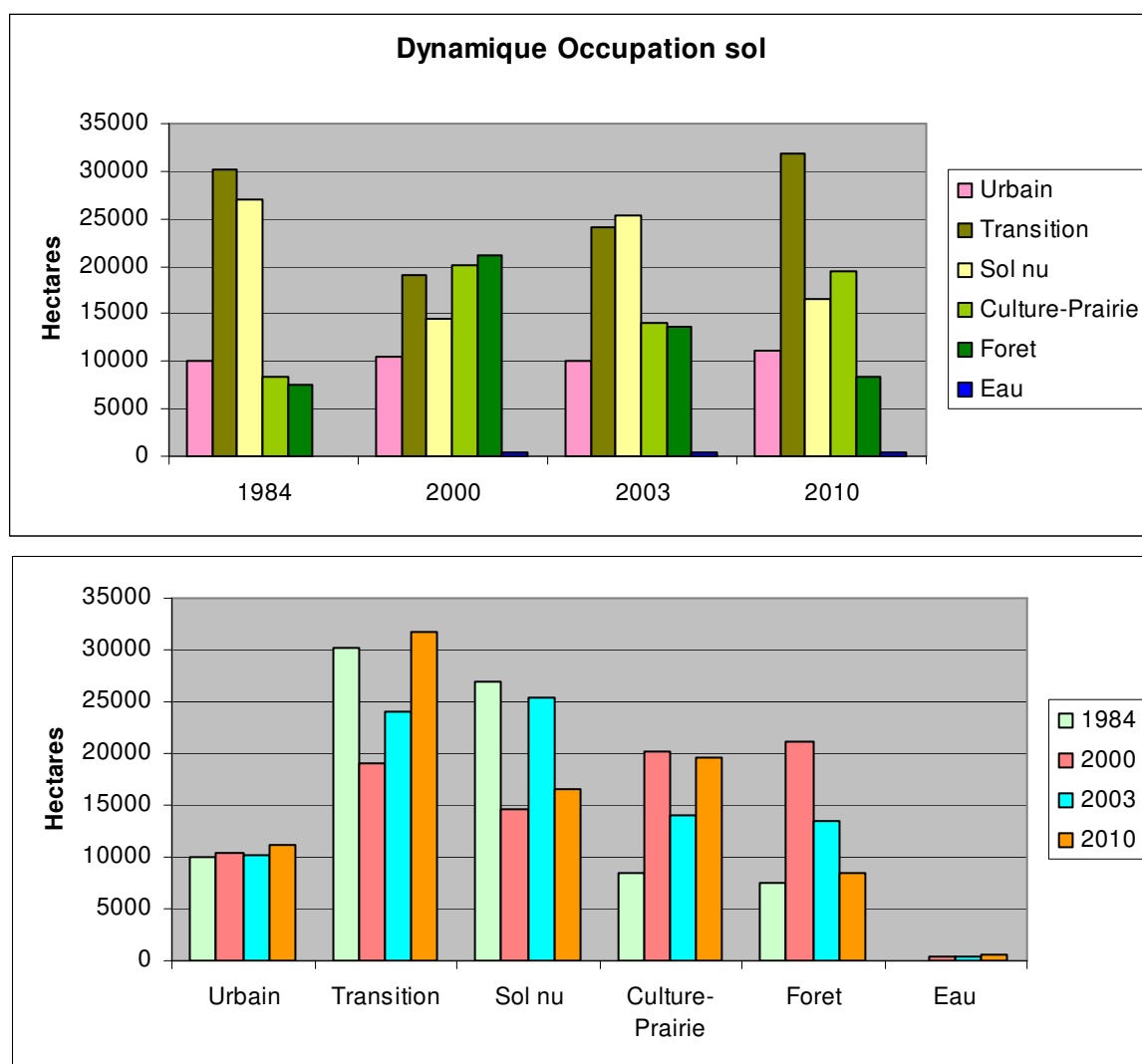


Fig. 9- Résultats statistiques des classifications des images Landsat et Spot des BV Touch-Lèze

Globalement, chaque classification apparaît relativement correcte à petite échelle : les grandes entités de l'occupation du sol se reconnaissent bien, comme les massifs forestiers (vert foncé) en amont de la Lèze, les grands domaines des cultures-prairies (vert clair), comme les agglomérations juxtaposées (rose) en aval du Touch, de Plaisance à Saint-Martin du Touch. On notera également l'effet de la saisonnalité puisque l'image de l'année 2000 est du mois de mai, donc plus chlorophyllienne. De plus,

les retenues d'eau artificielles progressent régulièrement –surtout au long du Touch- passant de 62 à 520 hectares.

Mais à grande échelle, de nombreuses imperfections subsistent encore entre le milieu urbain et certains sols nus si bien que ces biais dans les résultats cartographiques sont aussi perceptibles sur les statistiques (Fig.9). En effet, la totalité du domaine urbain, avoisinant les 10 000 hectares, semble constant de 1984 à 2010 alors qu'en réalité, l'urbanisation dans cette périphérie de Toulouse n'a fait que croître. C'est dire qu'une partie de ce domaine est compris dans « Transition », entité non dissociable pour le moment.

Concernant le rapport de ces résultats avec les écoulements d'eau, la seule classe « urbaine » ne permet pas totalement de mesurer la vulnérabilité structurelle aux inondations. Il est cependant possible de réunir les trois postes « urbain-transition-sol nu » en une seule entité que l'on peut appeler « minérale » qui, de part sa nature, son état physique, favorise voire accélère les écoulements superficiels lors des crues. Quant à la localisation des massifs et des îlots forestiers en amont ou sur les terrasses les plus élevées des deux rivières, elle démontre que ces derniers ne constituent pas un frein aux écoulements comme pourrait l'être des haies végétales.

Localement la partie des recherches historiques du programme AMAC a pu mettre en évidence sous un même référentiel géographique (RGF93) les données urbaines du début du XIXe siècle (cadastre Napoléonien de 1807) et les données cadastrales actuelles datant de 1996 (Fig. 10)

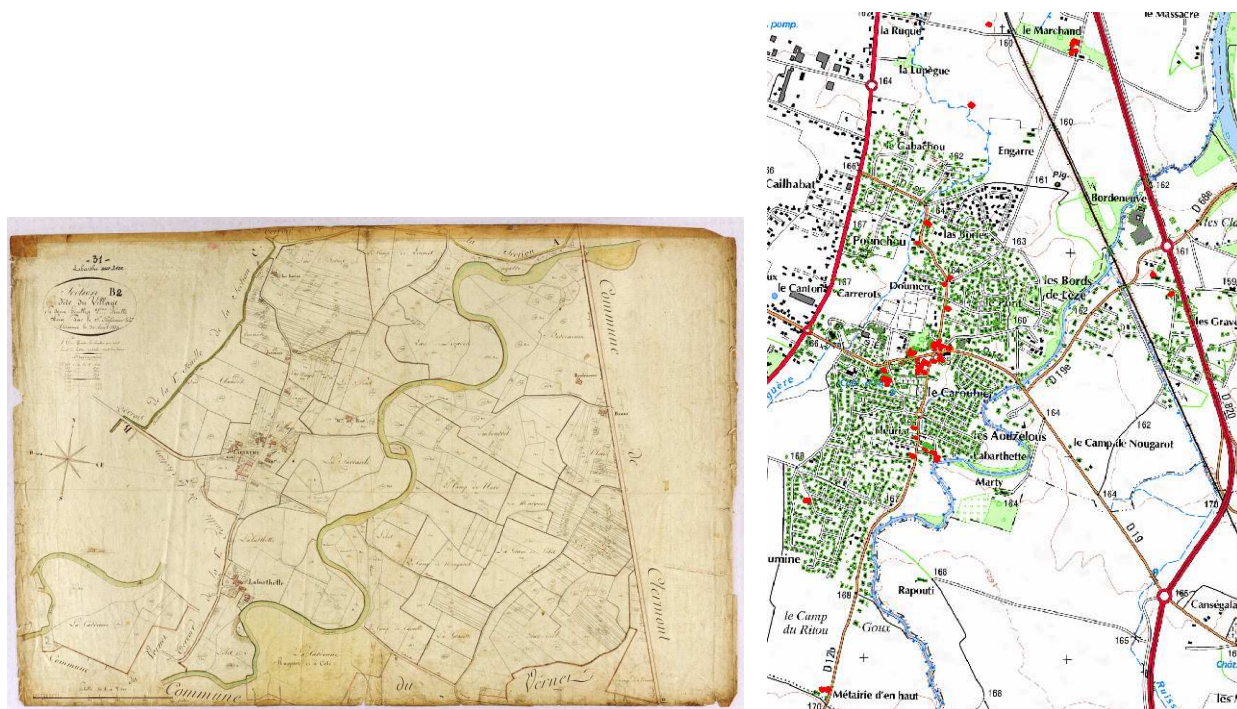


Fig. 10 : Feuilles du cadastre Napoléonien (à gauche) et cadastre 1996 (à droite) avec les habitations 1996 (Vert) et Napoléoniennes (Rouge) à Labarthe sur Lèze

Ainsi, sur cet espace, non seulement la croissance urbaine est évidente -elle passe de 37 à 2196 habitations en 1996-, mais l'habitat, beaucoup plus dense, s'est considérablement rapproché de la rivière, prenant ainsi davantage le risque d'être inondé.

Si la totalité du bassin de la Garonne a subi une crue centennale en 1875, le Touch et la Lèze ont connu leurs dernières crues respectivement en février 2003 et en juin 2000. A partir de la collecte de documents historiques et actuels (modification du tracé des cours d'eau, hauteurs des crues, débits... répartition des habitations), l'ensemble des données ont été intégrées aux modèles hydrauliques. Dès

lors, des simulations d'inondation ont pu être expérimentées par les hydrologues de l'Imft sur le site aval de la Lèze, à Labarthe, ville qui compte aujourd'hui environ 5000 habitants.

Fig. 11 - Débit de pointe des crues de la Lèze supérieures à 40 m<sup>3</sup>/s à Labarthe-sur-Lèze  
Période 1968–2010 (Source: Banque Hydro)

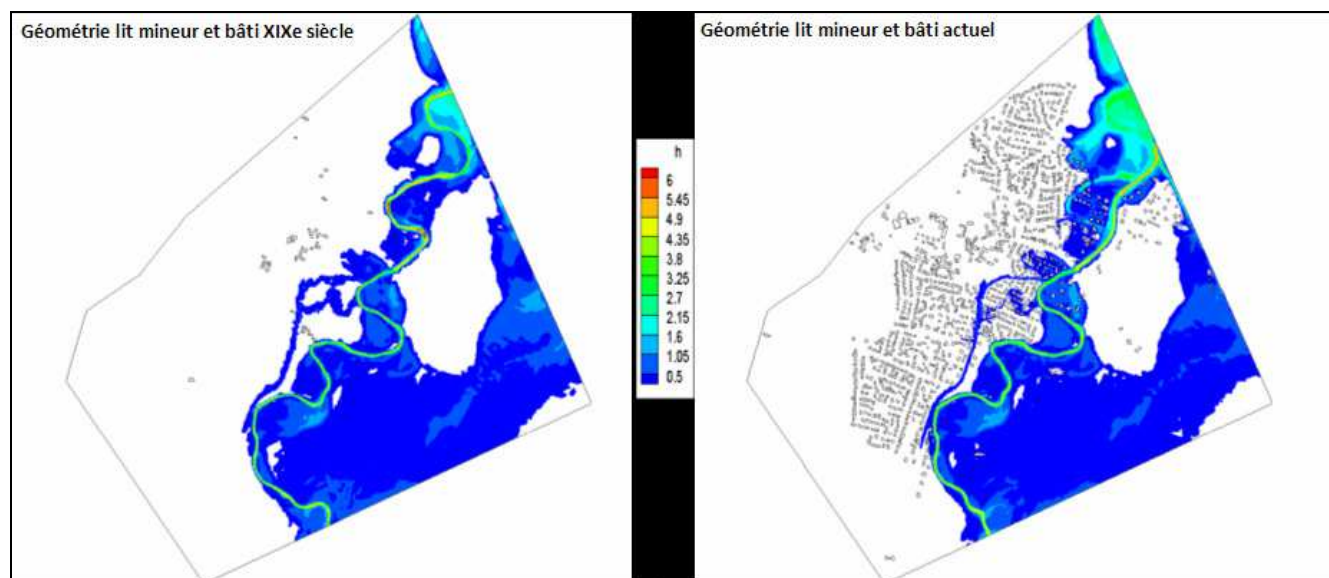


Fig. 12 - Champ d'inondation de la crue vicennale à Labarthe-sur-Lèze (Qix : 130 m<sup>3</sup>/s) –  
(Source : Imft ; 2013)

Il s'avère que la hauteur d'eau de la crue de l'an 2000 reste modeste -inférieure à 2,15 m- si bien que peu d'habitations en ont été affectées et aucune dans la simulation au XIX<sup>e</sup> siècle. Mais des crues plus violentes pourraient s'étendre davantage aussi bien dans les plaines alluviales de la Lèze que du Touch et causer maints dégâts sur leurs passages (habitations, voiries...) comme cela vient de se dérouler sur le piémont Pyrénéens et à son débouché, en juin 2013.

## Conclusions

Le programme AMAC connaît des avancées certaines mais n'est pas encore achevé compte tenu de l'ampleur des tâches à réaliser et à mettre en synergie. Les apports et les liens interdisciplinaires décrits dans l'organigramme sont en cours d'assemblage avec l'objectif de répondre à la « *prévision, l'alerte et la gestion de crise* », notamment à travers « *la réalisation d'un SIG interdisciplinaire de caractérisation du risque et d'appui à l'alerte* ». Nous avons développé ici certains éléments tant historiques que géographiques permettant d'envisager un diagnostic territorial fiable grâce aux outils et au recul temporel autorisés par l'analyse des archives sur les crues et la télédétection spatiale sur les sites-tests du Touch et de la Lèze.

Les données géographiques spatialisant le territoire en ses divers composantes, ont permis de remonter le temps jusqu'au début du XIX<sup>e</sup> siècle grâce aux cartes Napoléoniennes, cartes qu'il est possible de scanner et de géoréférencer afin d'exprimer certaines vulnérabilités urbaines.

Des simulations de débordement des rivières et d'envahissement de la plaine d'inondation dans les conditions actuelles comme dans les conditions passées (simulation / crue de 1875 ; simulation dans le contexte XIX<sup>e</sup> siècle - Napoléonien) ont été expérimentées permettant de peaufiner les outils de modélisation hydraulique en réduisant les incertitudes associées aux prévisions du modèle hydraulique actuel.



Les résultats des premières enquêtes sociologiques auprès des riverains font ressortir deux aspects apparemment contradictoires. D'un côté, la mémoire assez fugitive de ces habitants qui ne se souviennent pas correctement ou trop partiellement des inondations qu'ils ont pourtant vécues, et, de l'autre, leur exigence d'être avertis au moins 48 heures à l'avance des éventuelles crues à venir. Ce qui, en l'état actuel du dispositif d'alerte français « Vigicrue », géré en temps réel par le *Service de Prédiction des Crues-Garonne*, n'est guère possible.

Le traitement des données satellitales a rendu compte de certaines dynamiques environnementales, comme de l'implantation des habitations, par des cartographies et des statistiques sur deux grandes périodes temporelles : 1807 avec les premières cartes (Napoléon) puis de 1984 (image Landsat-TM) à 2010 (image Spot) sur les deux bassins versants expérimentaux sans omettre d'en préciser certaines limitations.

L'approche de la vulnérabilité urbaine mérite de plus amples recherches et mises au point avec des images satellitales aux résolutions spatiales encore plus fines -métriques et centimétriques-. Une perspective s'offre à nous à travers l'acquisition de nouvelles images à 50 cm de résolution spatiale issues des nouveaux satellites de la série *Pléiades*. De là seront envisageables des analyses plus fines au niveau des îlots d'habitations à l'intérieur de chacune des communes aussi bien que la perception et la mise en évidence des micro dénivelés topographiques à grande échelle. Ces données seraient à leur tour intégrées dans les modélisations hydrauliques et dans le système d'alerte et de gestion des crues.

## Bibliographie

Becerra, S. et A. Peltier, 2009 ; *Risques et environnement : recherches interdisciplinaires sur la vulnérabilité des sociétés*, Paris, L'Harmattan, 576 p.

Becerra, S., 2012 ; *Vulnérabilité, risques et environnement : l'itinéraire chaotique d'un paradigme sociologique contemporain* ; Vertigo - Vol. 12 Numéro 1 ; 16 p.

Benedetti A., 2010, *Etude de l'évolution de l'occupation du sol de la zone inondable sur la commune de Lézat sur Lèze (Ariège) depuis le début du 19ème siècle*. Rapport de Stage Master 1, sous la direction de Mme Anne Peltier Géode-UMR 5602. 24 p.

Boffet A., 2002, *Analyse multiniveau des espaces urbains*. Revue Internationale de Géomatique RIG ; Article Vol 12/2. pp.215-223

Cartorisque – *Cartographie des risques en Haute-Garonne*. Portail de la prévention des risques majeurs ; Ministère écologie et développement durable et de l'énergie. En ligne : [http://cartorisque.prim.net/dpt/31/31\\_ip.html](http://cartorisque.prim.net/dpt/31/31_ip.html)

Cornet Y. et al, 2004, *Intérêt de la fusion d'images à haute résolution spatiale pour la classification de l'occupation du sol en milieu urbain*. Revue Internationale de Géomatique RIG ; Article Vol 14/3-4. pp.417-439

Couloigner I., 1998, *Reconnaissance de formes dans des images de télédétection du milieu urbain* ; Doctorat. Université de Nice. 130 p.

*Cour des Comptes*, 2012, *Les enseignements des inondations de 2010 sur le littoral atlantique (Xynthia) et dans le Var – Avertissement Synthèse du Rapport public thématique*. 34p.

Curie F. et al, 2011 ; *Simulation d'un processus de densification du tissu urbain à base d'agents Analyse spatiale 2D et 3D* ; Revue Internationale de Géomatique RIG, Article Vol 21/4. pp. 489 à 511.

Demaze MT., 2010, *Un panorama de la télédétection de l'étalement urbain* ; Travaux et Documents ESO, 29. pp.99-124

Dequincey O., Pierre Thomas P., *La tempête Xynthia du 28 février 2010 : comment météorologie, astronomie et géologie auraient pu et dû permettre d'en prévoir la gravité*. Laboratoire de Sciences de la Terre, ENS de Lyon. En ligne : <http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/tempete-fevrier-2010.xml>

Desailly B., Vergnolle Mainar C. 2005 ; *Environnement et sociétés, territoire, risque, développement, éducation*, CRDP Midi Pyrénées, 364 p.

Drouin A., 2008, « *Élaboration d'un modèle de simulation des niveaux d'inondation à partir d'un SIG et application à un site : rivière Saint-François à Sherbrooke* ». Environnement Urbain vol. 2. pp. 33-49

El Khalki Y. et al., 2007 ; *La gestion des crues et inondations dans la région Tadla-Azilal (Maroc) : cas de Beni Mellal*. in Gestion intégrée des eaux et des sols Ressources, aménagements et risques en milieux ruraux et urbains Actes des JSIRAUF-Journées Scientifiques Inter-Réseaux de l'Agence Universitaire de la Francophonie, Hanoi. 6 p.

Gallice-Matti C., 2005, *La télédétection pour l'analyse spatiales : application aux espaces périurbains de la région urbaine de Lyon*. Université Jean Moulin – Lyon 3 - Institut de Géosciences -Géographie Université de Fribourg (Suisse). Doctorat. 296 p.

Izambart G. 2011 ; *L'apport de la pratique de retour d'expérience pour comprendre la vulnérabilité face aux inondations* ; Mémoire Master 1 ; Toulouse ; 237 p.

Kurtz C., 2009, *Analyse multirésolution d'images de télédétection par segmentations et classifications conjointes*, Laboratoire des Sciences de l'Image, de l'Informatique et de la Télédétection. Mémoire de Master Recherche. Université Strasbourg. 87 p.

Leone F., Vinet F., 2011, *La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles Analyses géographiques*. Collection « Géorisques » no 1 ; 144 p.

Mariesophie, 2010, *Après Xynthia : les zones à risques en Charente-Maritime*, en ligne : <http://planetevivante.wordpress.com/2010/04/11/apres-xynthia-les-zones-a-risques-en-charente-maritime/>

Michel L, 2012, *Actes des Assises Nationales des Risques Naturels* ; Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement ; Bordeaux. 122 p.

Pereira-Viala V., Florian Thomas F., 2008, *Spécifications de contenu de la base de données géographiques (BDT) V 4.1 - Projet Plan Rhône* ; IGN Conseil. 99 p.

Préfecture de Haute-Garonne, 2011 *PPR INONDATION TOULOUSE Zone PROTEGEE par les DIGUES de Garonne - DOSSIER D'ENQUETE PUBLIQUE*. - Direction Départementale des territoires de la Haute-Garonne ; Toulouse. 57 p.

Prodig, 2008, *Géographes et assureurs face aux risques naturels : L'évaluation des politiques publiques de prévention. 3èmes rencontres géographes et assureurs*. En ligne <http://www.prodig.cnrs.fr/spip.php?article763>

Puissant A. et al, 2011, *Classification et évolution des tissus urbains à partir de données vectorielles* ; Revue Internationale de Géomatique RIG. Article Vol 21/4. pp.513-532



Souyris E., 2006 ; *Synthèse des systèmes d'alerte et des documents de prévention des communes du SMIVAL inondées par la Lèze* ; SMIVAL ; 79 p.

o o o o o